

MICROWAVE PLASMA GENERATION DEVICE AND METHOD

Publication number: JP2000133494 (A)

Publication date: 2000-05-12

Inventor(s): IKEDA TETSUYA

Applicant(s): MITSUBISHI HEAVY IND LTD

Classification:

- international: B01D53/32; B01J19/08; B01J19/12; C01B7/03; C01B7/19; H01J37/32; H05B6/70; H05B6/80; H05H1/24; H05H1/30; B01D53/32; B01J19/08; B01J19/12; C01B7/00; H01J37/32; H05B6/70; H05B6/80; H05H1/24; H05H1/26; (IPC1-7): H05H1/30; B01J19/12

- European: B01D53/32; B01J19/08D2; B01J19/12D6; C01B7/03B; C01B7/19B; H01J37/32H3B; H05B6/70; H05B6/80; H05H1/24

Application number: JP19980302994 19981023

Priority number(s): JP19980302994 19981023

Also published as:

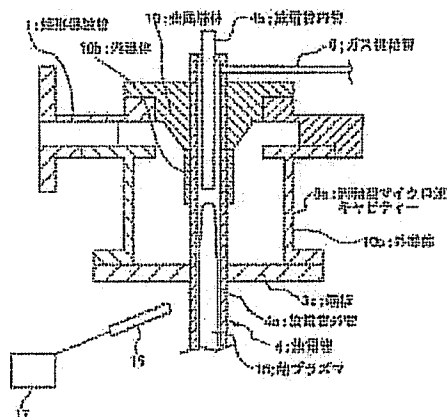
WO0025557 (A1)
US6340863 (B1)
AU746745 (B2)
AU6229499 (A)
DE19982291 (C2)

more >>

Abstract of JP 2000133494 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a microwave plasma generation device and a microwave plasma generation method capable of stably and efficiently generating plasma.

SOLUTION: In a microwave plasma generation device provided with a discharge tube 4 having a clad tube structure equipped with an outer tube 4a and an inner tube 4b, and a coaxial type microwave cavity 3a in which the discharge tube 4 is installed, the cross-sectional area of a space part between the outer tube 4a and the inner tube 4b is set constant. Use of an organic halogen compound decomposing microwave plasma comprising a mixed gas of fluorocarbon or the like and steam.; Because there is no tapered part nor a place where a passage is narrowed, the circulating wave effect is maintained, the melting of the discharge tube and the adhesion of solid substances can be prevented. An ignition coil or an ignition electrode is installed in the discharge tube, so that repeatable plasma generation can be executed regardless of a plasma state.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(11)特許出願公開番号

特開2000-133494

(P2000-133494A)

(43)公開日 平成12年5月12日(2000.5.12)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

FI

テーマコート* (参考)

H05H 1/30

H O 5 H 1/30

4 G 0 7 5

B 0 1 J 19/12

B 0 1 J 19/12

A

審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 13 頁)

(21)出願番号

特願平10-302994

(22) 出題目

平成10年10月23日(1998. 10. 23)

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 池田 哲哉

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1

三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

(74)代理人 100112737

弁理士 藤田 考晴 (外3名)

Fターム(参考) 4G075 AA43 BA01 CA26 CA47 DA02

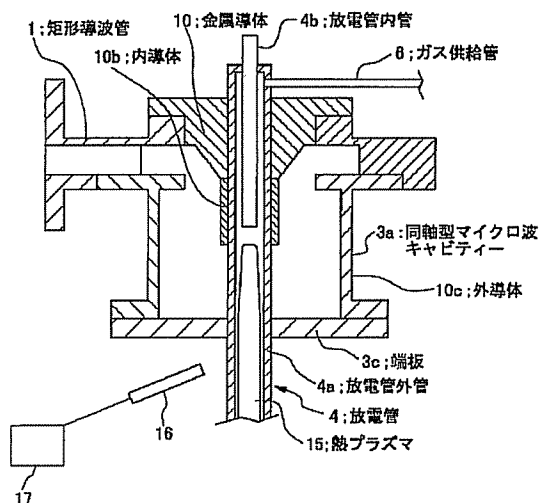
EA01 EB31 EB41 EC01 EC06

(54) 【発明の名称】 マイクロ波プラズマ発生装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】 プラズマを安定に効率よく発生させることができるマイクロ波プラズマ発生装置およびマイクロ波プラズマ発生方法を提供すること。

【解決手段】 外管4aと内管4bとを備えた2重管構造の放電管4と、放電管4が設けられた同軸型マイクロ波キャビティ3aとを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、外管4aと内管4bとの隙間部の断面積が一定であることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外管と内管とを備えた2重管構造の放電管と、該放電管が設けられた同軸型マイクロ波キャビティとを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記外管と内管との隙間部の断面積が一定であることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項2】 外管と内管とを備えた2重管構造の放電管と、該放電管が設けられた円筒型マイクロ波キャビティとを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記外管と内管との隙間部の断面積が一定であることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項3】 請求項1または2記載のマイクロ波プラズマ発生装置において、前記内管には、マイクロ波放電を発生させる着火電極が設けられていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項4】 請求項1または2記載のマイクロ波プラズマ発生装置において、前記内管内部には、マイクロ波放電を発生させる着火コイルが設けられていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項5】 請求項1から4いずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置において、前記外管と内管との隙間にガスを供給する枝管が設けられていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項6】 請求項1から5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ発生方法において、前記外管と内管との隙間に有機ハロゲン化合物と、水蒸気と、空気等を供給することを特徴とするマイクロ波プラズマ発生方法。

【請求項7】 請求項1から5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ発生方法において、前記内管の内側に有機ハロゲン化合物を供給し、前記外管と内管との隙間に水蒸気、空気等を供給することを特徴とするマイクロ波プラズマ発生方法。

【請求項8】 請求項1から5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ発生方法において、前記内管の内側に水蒸気、空気等を供給し、前記外管と内管との隙間に有機ハロゲン化合物を供給することを特徴とするマイクロ波プラズマ発生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マイクロ波プラズマ生成に用いる放電管の構造に関するもので、とくにフロン、トリクロロメタン等の有機ハロゲン化合物の分解に用いるマイクロ波プラズマ発生装置に関するものであ

る。

【0002】

【従来の技術】高周波プラズマやマイクロ波プラズマを生成させる放電管には通常、図7に示す2重管構造の放電管4が用いられる。この放電管4は石英製で、円筒状の外管4aと内管4bとにより構成されている。内管4bの終端はテーパ状に広がるテーパ部24とされ、内管4bと外管4aとの隙間が狭くなっている。この放電管4は、高周波誘導コイルやマイクロ波キャビティに挿入して用いられ、外管4aと内管4bとの隙間に導入されて噴出する反応ガスと、内管4bの終端に開口したキャリヤガス吹き出し口23から吹き出されるキャリヤガスによって放電が得られている。

【0003】通常、例えば元素分析においては、反応ガスとして窒素ガス等が、キャリヤガスとしてはArやHe等が用いられる。マイクロ波放電では、外管4aと内管4bの隙間からキャビティ内のアンテナとキャビティ端板または内導体と外導体のギャップに噴出させた反応ガスとキャリヤガスをプラズマ発生させる。プラズマの着火には、マイクロ波キャビティ出口の放電管4外側近傍にテスラコイルやネオントランスなどの着火電源17に結合した着火コイル16を使用する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記の従来の放電管4を用いてプラズマを発生させ、有機ハロゲン化合物を分解するには、一般にArガスがキャリヤガスとして用いられる。しかし、Arガス等は高価であるという問題がある。また、キャリヤガスの流量を上げるとプラズマの生成が不安定になるなどの欠点があり、さらに、キャリヤガスを噴出させる内管4bの吹き出し口が非常に小さいために、プラズマによる溶融等の損傷を受けやすい欠点がある。また、内管4bの終端がテーパ状に広がり、ガス流路が狭くなっているために、反応ガスの噴出速度は上がるものの、プラズマがテーパ部24の隙間を逆流し、内管4bのテーパ部24自体が溶融し、欠落するという問題がある。

【0005】一方、高価なArガスなしで放電させるためには、フロン等の有機ハロゲン化合物を内管4bの吹き出し口から噴出させ水蒸気を外管に供給させる方法も考えられる。しかし、フロン等はプラズマ中での反応性が非常に高いため、内管4b内部がスパッタされたり、熱分解で生成したすす等が付着しやすい欠点がある。また、内管4bに水蒸気を供給した場合、内管4bの吹き出し口23付近で結露が著しく、プラズマ中に安定に水蒸気を供給できない。さらにまた、有機ハロゲン化合物と水蒸気をともに外管4aに供給した場合、テーパ部24で水蒸気の結露、すすの付着が起り、プラズマの不安定性の原因となるという問題がある。さらに、プラズマの着火に関しては、従来の放電管4においてはキャビティ外部に取り付けられた着火コイル16等をプラズ

マ状態に応じて調整しなければならないという欠点がある。

【0006】また、放電管4内のガス流れについては、通常、放電管4壁面へのプラズマの接触を防止するために、外管4aへのガスの供給を接線方向に取り付けて旋回流効果を与えているが、内管4bのテーパ部24で流路が絞られているため、その効果がなくなり、多少のプラズマ状態の変化によっても、放電の不均一化や放電管4の溶融が起きやすいという欠点がある。

【0007】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、プラズマを安定に効率よく発生させることができるマイクロ波プラズマ発生装置およびマイクロ波プラズマ発生方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1記載のマイクロ波プラズマ発生装置は、外管と内管とを備えた2重管構造の放電管と、該放電管が設けられた同軸型マイクロ波キャビティーとを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記外管と内管との隙間部の断面積が一定であることを特徴とする。

【0009】このマイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管を直管とする。これにより、内管と外管との間の隙間部の断面積、すなわち、放電管の長さ方向に直交する断面における隙間部の開口面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管がプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、内管へのすすの付着や水蒸気等の結露が防止され、また、旋回流効果の維持が可能となる。また、これによりプラズマが安定するので、一度プラズマが着火すれば、キャリアガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。

【0010】請求項2記載のマイクロ波プラズマ発生装置は、外管と内管とを備えた2重管構造の放電管と、該放電管が設けられた円筒型マイクロ波キャビティーとを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記外管と内管との隙間部の断面積が一定であることを特徴とする。

【0011】このマイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管を直管とする。これにより、内管と外管との間の隙間部の断面積、すなわち、放電管の長さ方向に直交する断面における隙間部の開口面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管がプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、内管へのすすの付着や水蒸気等の結露が防止され、また、旋回流効果の維持が可能となる。また、これによりプラズマが安定するので、一度プラズマが着火すれば、キャリアガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。

【0012】請求項3記載のマイクロ波プラズマ発生装置は、請求項1または2記載のマイクロ波プラズマ発生装置において、前記内管内部には、着火電極が設けられていることを特徴とする。

【0013】このマイクロ波プラズマ発生装置においては、マイクロ波放電を発生させる着火電極が内管内に設けられていることにより、プラズマ状態によらず安定な再現性のある着火ができる。

【0014】請求項4記載のマイクロ波プラズマ発生装置は、請求項1または2記載のマイクロ波プラズマ発生装置において、前記内管内部には、着火コイルが設けられていることを特徴とする。

【0015】このマイクロ波プラズマ発生装置においては、プラズマ着火用の着火コイルが内管内に設けられていることにより、プラズマ状態によらず安定な再現性のある着火ができる。

【0016】請求項5記載のマイクロ波プラズマ発生装置は、請求項1から4いずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置において、前記外管と内管との隙間にガスを供給する枝管が設けられていることを特徴とする。

【0017】このマイクロ波プラズマ発生装置によれば、枝管によって放電管に流入するガス流れが壁面に沿った接線方向になり、放電管壁面へのプラズマの接触が防止される。さらに、内管が直管であるため、内管の終端までこの旋回流効果が維持されるため、放電の不均一化や放電管の溶融が防がれる。

【0018】請求項6記載のマイクロ波プラズマ発生方法は、請求項1から5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ発生方法において、前記外管と内管との隙間に有機ハロゲン化合物と、水蒸気と、空気等を供給することを特徴とする。

【0019】このマイクロ波プラズマ発生方法によれば、2重管構造の放電管の、外管と内管との隙間に有機ハロゲン化合物、水蒸気、空気等を供給することにより、安定してプラズマを着火させることができる。

【0020】請求項7記載のマイクロ波プラズマ発生方法は、請求項1から5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ発生方法において、前記内管の内側に有機ハロゲン化合物を供給し、前記外管と内管との隙間に水蒸気、空気等を供給することを特徴とする。

【0021】このマイクロ波プラズマ発生方法によれば、2重管構造の放電管の、内管には有機ハロゲン化合物を供給し、外管と内管との隙間には、水蒸気、空気等を供給することにより、プラズマが着火する。

【0022】請求項8記載のマイクロ波プラズマ発生方法は、請求項1から5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ発生装置を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ発生方法において、前記内管の内側に水蒸

気、空気等を供給し、前記外管と内管との隙間に有機ハロゲン化合物を供給することを特徴とする。

【0023】このマイクロ波プラズマ発生方法によれば、2重管構造の放電管の、内管には水蒸気、空気等を供給し、外管と内管との隙間には、有機ハロゲン化合物を供給することにより、プラズマが着火する。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態に係るマイクロ波プラズマ発生装置を説明する。なお、以下に説明するマイクロ波プラズマ発生装置は、フロンガス（有機ハロゲン化合物）を含んだガスにマイクロ波を照射することによって熱プラズマを発生させ、この熱プラズマを利用してフロンガスと水を反応させてフロンを分解させるものである。

【0025】（第1の実施形態）以下、本発明の第1の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置について、詳細に説明する。従来技術と同一構成については、同一の符号を付して説明する。図1において、本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を備えたフロン分解装置が示されている。図1において水平方向に延びる矩形導波管1は、その始端部（左端部）に周波数2.45GHzのマイクロ波を発振するマイクロ波発振器2が備えられており、始端側から終端（右端）側に向けてマイクロ波を伝送する。図2に示すように、同軸型マイクロ波キャビティー3aは、外導体10cと、それよりも小径の内導体10bと、内導体10bに連結する金属導体10とから構成され、矩形導波管1の終端部近傍において矩形導波管1に連通した状態で垂直方向に延びるように接続されている。金属導体10は、矩形導波管1の上部に固定された状態で、石英製の放電管4を囲みつつキャビティー端板3cに向けて延在し、この延在部分を内導体10bとしている。

【0026】放電管4は、外管4aと内管4bとからなる2重管とされている。外管4aと内管4bとはともに直管であり、外管4aと内管4bとの隙間部の断面積、すなわち、放電管4の長さ方向に直交する断面における外管4aと内管4bとの間の隙間部の開口面積は、内管4bの終端まで一定とされている。このように構成された放電管4は、同軸型キャビティー3aの中心軸に対して同軸となるように配置されており、矩形導波管1及び同軸型キャビティー3aを貫通している。この放電管4の先端部（下端部）は、同軸型キャビティー3aの端板3cを貫通して、図1に示すように反応器5に連通している。この放電管4の基端部（上端部）には、ガス供給管6を介して、フロンガス7、空気8、水蒸気発生器9からの水蒸気、およびアルゴンガス14が供給される。また、放電管4の外管4a外側には、着火電源17によりプラズマを着火する着火電極16が設けられている。

【0027】一方、反応器5の下端は、容器11内のア

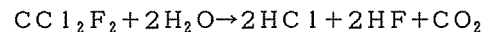
ルカリ水溶液12中に浸漬しており、容器11の上部には排気ダクト13が連結されている。

【0028】かかる構成となっている有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置では、マイクロ波発振器2で発生したマイクロ波は、矩形導波管1により伝送され、このマイクロ波は、金属導体10及び内導体10bを介して、同軸型キャビティー3aに伝送される。このとき、同軸型キャビティー3内においては、内導体10bと端板3cとの間で軸方向電界が形成される。

【0029】このとき、放電管4内に、フロンガスおよび水蒸気を含んだガスを供給しておき、着火電源16によって放電を行うと、放電管4内には、電子エネルギーが高く、温度が2000～6000Kの熱プラズマ15が発生する。このため、フロンガスは、塩素原子、フッ素原子、および水素原子に解離しやすい状態になるため、水蒸気と反応し、例えばフロンR12の場合、式1に示すように反応して容易に分解される。

【0030】

【式1】



【0031】分解後のガスは、アルカリ水溶液12（水酸化カルシウム）中を通過し、除害処理され、炭酸ガス等を含むのりのガスは、排気ダクト13から排出される。

【0032】以上の本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管は直管であるため、内管と外管との間の隙間部の断面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管4bがプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、すすの付着や水蒸気等の結露が防止される。さらに、プラズマ状態が安定しているので、一度プラズマが着火すれば、キャリヤガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われぬ。したがってArガスの消費を抑えることができる。

【0033】（第2の実施形態）次に、本発明の第2の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置について、詳細に説明する。従来技術と同一構成については、同一の符号を付して説明する。図1において、本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を備えたフロン分解装置が示されている。図1において水平方向に延びる矩形導波管1は、その始端部（左端部）に周波数2.45GHzのマイクロ波を発振するマイクロ波発振器2が備えられており、始端側から終端（右端）側に向けてマイクロ波を伝送する。図3に示すように、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bは、プローブアンテナ10aと、プローブアンテナ10aに連結する金属導体10とを有し、矩形導波管1の終端部近傍において矩形導波管1に

連通した状態で垂直方向に延びるように接続されている。金属導体10は、矩型導波管1の上部に固定された状態で、石英製の放電管4を囲みつつキャビティー端板3cに向けて延在し、この延在部分をプローブアンテナ10aとしている。

【0034】放電管4は、外管4aと内管4bとからなる2重管とされている。外管4aと内管4bはともに直管であり、外管4aと内管4bとの隙間部の断面積、すなわち、放電管4の長さ方向に直交する断面における外管4aと内管4bとの間の隙間部の開口面積は、内管4bの終端まで一定とされている。このように構成された放電管4は、キャビティー3bの中心軸に対して同軸となるように配置されており、矩型導波管1及びキャビティー3bを貫通している。この放電管4の先端部（下端部）は、キャビティー3bの端板3cを貫通して、図1に示すように反応器5に連通している。この放電管4の基端部（上端部）には、ガス供給管6を介して、フロンガス7、空気8、水蒸気発生器9からの水蒸気、およびアルゴンガス14が供給される。また、放電管4の外管4a外側には、着火電源17によりプラズマを着火する着火電極16が設けられている。

【0035】一方、反応器5の下端は、容器11内のアルカリ水溶液12中に浸漬しており、容器11の上部には排気ダクト13が連結されている。

【0036】かかる構成となっている有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置では、マイクロ波発振器2で発生したマイクロ波は、矩型導波管1により伝送され、このマイクロ波は、金属導体10及びプローブアンテナ10aを介して、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bに伝送される。このとき、キャビティー3b内においては、プローブアンテナ10aと端板3cとの間で TM_{010} モードの軸方向電界が形成される。

【0037】このとき、放電管4内に、フロンガスおよび水蒸気を含んだガスを供給しておき、着火電源16によって放電を行うと、放電管4内には、電子エネルギーが高く、温度が2000～6000Kの熱プラズマ15が発生する。このため、フロンガスは、塩素原子、フッ素原子、および水素原子に解離しやすい状態になるため、水蒸気と反応し、例えばフロンR12の場合、式1に示すように反応して容易に分解される。

【0038】分解後のガスは、アルカリ水溶液12（水酸化カルシウム）中を通過し、除害処理され、炭酸ガス等を含むのりのガスは、排気ダクト13から排出される。

【0039】以上の本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管は直管であるため、内管と外管との間の隙間部の断面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管4bがプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、すす

の付着や水蒸気等の結露が防止される。さらに、プラズマ状態が安定しているので、一度プラズマが着火すれば、キャリアガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。したがってArガスの消費を抑えることができる。

【0040】（第3の実施形態）次に、本発明の第3の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置について、詳細に説明する。従来技術と同一構成については、同一の符号を付して説明する。図1において、本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を備えたフロン分解装置が示されている。図1において水平方向に延びる矩型導波管1は、その始端部（左端部）に周波数2.45GHzのマイクロ波を発振するマイクロ波発振器2が備えられており、始端側から終端（右端）側に向けてマイクロ波を伝送する。図4に示すように、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bは、プローブアンテナ10aと、プローブアンテナ10aに連結する金属導体10とを有し、矩型導波管1の終端部近傍において矩型導波管1に連通した状態で垂直方向に延びるように接続されている。金属導体10は、矩型導波管1の上部に固定された状態で、石英製の放電管4を囲みつつキャビティー端板3cに向けて延在し、この延在部分をプローブアンテナ10aとしている。

【0041】放電管4は、外管4aと内管4bとからなる2重管とされている。外管4aと内管4bはともに直管であり、外管4aと内管4bとの隙間部の断面積、すなわち、放電管4の長さ方向に直交する断面における外管4aと内管4bとの間の隙間部の開口面積は、内管4bの終端まで一定とされている。このように構成された放電管4は、キャビティー3bの中心軸に対して同軸となるように配置されており、矩型導波管1及びキャビティー3bを貫通している。この放電管4の先端部（下端部）は、キャビティー3bの端板3cを貫通して、図1に示すように反応器5に連通している。この放電管4の基端部（上端部）には、ガス供給管6を介して、フロンガス7、空気8、水蒸気発生器9からの水蒸気、およびアルゴンガス14が供給される。また、放電管4の内管4b内部には、テスラコイルで構成される着火電源17によりプラズマを着火する着火電極16が設けられている。

【0042】一方、反応器5の下端は、容器11内のアルカリ水溶液12中に浸漬しており、容器11の上部には排気ダクト13が連結されている。

【0043】かかる構成となっている有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置では、マイクロ波発振器2で発生したマイクロ波は、矩型導波管1により伝送され、このマイクロ波は、金属導体10及びプローブアンテナ10aを介して、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bに伝送される。このとき、キャビティー

3b内においては、プローブアンテナ10aと端板3cとの間で TM_{010} モードの軸方向電界が形成される。

【0044】このとき、放電管4内に、フロンガスおよび水蒸気を含んだガスを供給しておき、着火電源16によって放電を行うと、放電管4内には、電子エネルギーが高く、温度が2000～6000Kの熱プラズマ15が発生する。このため、フロンガスは、塩素原子、フッ素原子、および水素原子に解離しやすい状態になるため、水蒸気と反応し、例えばフロンR12の場合、式1に示すように反応して容易に分解される。

【0045】分解後のガスは、アルカリ水溶液12（水酸化カルシウム）中を通過し、除害処理され、炭酸ガス等を含むのこりのガスは、排気ダクト13から排出される。

【0046】以上の本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管は直管であるため、内管と外管との間の隙間部の断面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管4bがプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、すすの付着や水蒸気等の結露が防止される。さらに、プラズマ状態が安定しているため、一度プラズマが着火すれば、キャリアガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。したがってArガスの消費を抑えることができる。さらに、プラズマの着火電極が内管に設けられていることにより、プラズマ状態によらず安定な再現性のある着火ができ、低流量のArガスでも、プラズマを着火することができる。

【0047】（第4の実施形態）次に、本発明の第4の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置について、詳細に説明する。従来技術と同一構成については、同一の符号を付して説明する。図1において、本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を備えたフロン分解装置が示されている。図1において水平方向に延びる矩形導波管1は、その始端部（左端部）に周波数2.45GHzのマイクロ波を発振するマイクロ波発振器2が備えられており、始端側から終端（右端）側に向けてマイクロ波を伝送する。図5に示すように、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bは、プローブアンテナ10aと、プローブアンテナ10aに連結する金属導体10とを有し、矩形導波管1の終端部近傍において矩形導波管1に連通した状態で垂直方向に延びるように接続されている。金属導体10は、矩形導波管1の上部に固定された状態で、石英製の放電管4を囲みつつキャビティー端板3cに向けて延在し、この延在部分をプローブアンテナ10aとしている。

【0048】放電管4は、外管4aと内管4bとからなる2重管とされている。外管4aと内管4bはともに直

管であり、外管4aと内管4bとの隙間部の断面積、すなわち、放電管4の長さ方向に直交する断面における外管4aと内管4bとの間の隙間部の開口面積は、内管4bの終端まで一定とされている。このように構成された放電管4は、キャビティー3bの中心軸に対して同軸となるように配置されており、矩形導波管1及びキャビティー3bを貫通している。この放電管4の先端部（下端部）は、キャビティー3bの端板3cを貫通して、図1に示すように反応器5に連通している。この放電管4の基端部（上端部）には、ガス供給管6を介して、フロンガス7、空気8、水蒸気発生器9からの水蒸気、およびアルゴンガスが供給される。また、放電管4の内管4b内部には、テスラコイルで構成される着火電源17によりプラズマを着火するコイル18が設けられている。

【0049】一方、反応器5の下端は、容器11内のアルカリ水溶液12中に浸漬しており、容器11の上部には排気ダクト13が連結されている。

【0050】かかる構成となっている有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置では、マイクロ波発振器2で発生したマイクロ波は、矩形導波管1により伝送され、このマイクロ波は、金属導体10及びプローブアンテナ10aを介して、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bに伝送される。このとき、キャビティー3b内においては、プローブアンテナ10aと端板3cとの間で TM_{010} モードの軸方向電界が形成される。

【0051】このとき、放電管4内に、フロンガスおよび水蒸気を含んだガスを供給しておき、コイル18によって放電を行うと、放電管4内には、電子エネルギーが高く、温度が2000～6000Kの熱プラズマ15が発生する。このため、フロンガスは、塩素原子、フッ素原子、および水素原子に解離しやすい状態になるため、水蒸気と反応し、例えばフロンR12の場合、式1に示すように反応して容易に分解される。

【0052】分解後のガスは、アルカリ水溶液12（水酸化カルシウム）中を通過し、除害処理され、炭酸ガス等を含むのこりのガスは、排気ダクト13から排出される。

【0053】以上の本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管は直管であるため、内管と外管との間の隙間部の断面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管4bがプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、すすの付着や水蒸気等の結露が防止される。さらに、プラズマ状態が安定しているため、一度プラズマが着火すれば、キャリアガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。したがってArガスの消費を抑えることができる。さらにまた、プラズマの着火コイルが内管内に設けられていることにより、プラズマ状態によらず安定な再現性のある

着火ができ、低流量のArガスでもプラズマを着火することができる。

【0054】(第5の実施形態)次に、本発明の第5の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置について、詳細に説明する。従来技術と同一構成については、同一の符号を付して説明する。図1において、本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を備えたフロン分解装置が示されている。図1において水平方向に延びる矩形導波管1は、その始端部(左端部)に周波数2.45GHzのマイクロ波を発振するマイクロ波発振器2が備えられており、始端側から終端(右端)側に向けてマイクロ波を伝送する。図6に示すように、円筒型マイクロ波共振キャビティー3bは、プローブアンテナ10aと、プローブアンテナ10aに連結する金属導体10とを有し、矩形導波管1の終端部近傍において矩形導波管1に連通した状態で垂直方向に延びるように接続されている。金属導体10は、矩形導波管1の上部に固定された状態で、石英製の放電管4を囲みつつキャビティー端板3cに向けて延在し、この延在部分をプローブアンテナ10aとしている。

【0055】放電管4は、外管4aと内管4bとからなる2重管とされている。外管4aと内管4bとはともに直管であり、外管4aと内管4bとの隙間部の断面積、すなわち、放電管4の長さ方向に直交する断面における外管4aと内管4bとの間の隙間部の開口面積は、内管4bの終端まで一定とされている。このように構成された放電管4は、キャビティー3bの中心軸に対して同軸となるように配置されており、矩形導波管1及びキャビティー3bを貫通している。この放電管4の先端部(下端部)は、キャビティー3bの端板3cを貫通して、図1に示すように反応器5に連通している。この放電管4の基端部(上端部)には、ガス供給管6を介して、フロンガス7、空気8、水蒸気発生器9からの水蒸気、およびアルゴンガス14が供給される。また、放電管4の外管4a外側には、着火電源17によりプラズマを着火する着火電極16が設けられている。

【0056】さらに、外管4aの側面には枝管21が取り付けられており、この枝管21を介してガスを導入することにより、外管4aと内管4bとの隙間のガス流れが、壁面に沿った接線方向となる旋回流22を与える機能を有している。

【0057】一方、反応器5の下端は、容器11内のアルカリ水溶液12中に浸漬しており、容器11の上部には排気ダクト13が連結されている。

【0058】かかる構成となっている有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置では、マイクロ波発振器2で発生したマイクロ波は、矩形導波管1により伝送され、このマイクロ波は、金属導体10及びプローブアンテナ10aを介して、円筒型マイクロ波共振キ

ャビティー3bに伝送される。このとき、キャビティー3b内においては、プローブアンテナ10aと端板3cとの間でTM₀₁₀モードの軸方向電界が形成される。

【0059】このとき、放電管4内に、フロンガスおよび水蒸気を含んだガスを供給しておき、着火電源16によって放電を行うと、放電管4内には、電子エネルギーが高く、温度が2000~6000Kの熱プラズマ15が発生する。このため、フロンガスは、塩素原子、フッ素原子、および水素原子に解離しやすい状態になるため、水蒸気と反応し、例えばフロンR12の場合、式1に示すように反応して容易に分解される。

【0060】分解後のガスは、アルカリ水溶液12(水酸化カルシウム)中を通過し、除害処理され、炭酸ガス等を含むのこりのガスは、排気ダクト13から排出される。

【0061】以上の本実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置においては、放電管の2重構造を構成する内管は直管であるため、内管と外管との間の隙間部の断面積が一定となり、また、内管の吹き出し口が従来より大きくなることによって、内管4bがプラズマの損傷を受けにくくなるとともに、すすの付着や水蒸気等の結露が防止され、また、旋回流効果の維持が可能となる。さらに、プラズマ状態が安定しているため、一度プラズマが着火すれば、キャリヤガスとしてのArガスの供給を停止してフロンや水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。したがってArガスの消費を抑えることができる。

【0062】

【実施例】本発明の有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を用いる実施例について説明する。ここでは、有機ハロゲン化合物の中でもフロンR12(CCl₂F₂)及びフロン134a(CH₂CF₄)の分解実験を例示する。マイクロ波は周波数2.45GHzを用いた例を示す。

【0063】(実施例1)本実施例においては、前記第1の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置を用い、所定条件下でフロンガスの分解を行った。詳細には、図1及び図2において示したプラズマを生成する同軸型マイクロ波キャビティー3aを内径40mm、長さ50mmとし、内導体10bとキャビティー端板3cのギャップ長さを20mmとした。キャビティー3a内部には、石英製放電管4が内導体10bに貫通して設けられている。放電管4は、外管4a(外径13mm、内径10mm)と内管4b(外径6mm、内径4mm)により構成されている。キャビティー3a内部の放電管4には、フロン(R12)7を大気圧、流量10l/minでガス供給管6から供給し、2.45GHzのマイクロ波が、発振器2から矩形導波管1に取り付けられた金属導体10および内導体10bを経て、同軸型キャビティー3a内に導かれ、内導体

10bとキャビティー端板3cとの間で形成された軸方向電界で放電させた。放電は、大気圧でも従来の装置を用いた場合と比較して、十分安定していることがわかった。フロンと水蒸気の供給方法を放電管の内管と外管（内管と外管との隙間）に分け、フロン供給

量1kg/hでマイクロ波パワーを1200Wとした場合の、ガスクロマトグラフィー分析により得られた分解率の測定結果を表1に示した。また、この試験において、空気を混入したフロン134aについても同様の試験を行った。その結果を同様に表1に示した。

【0064】

【表1】

フロン		水蒸気		放電の成否	分解率(R12)	分解率(134a)
外管流量	内管	外管流量	内管			
6 L/min	0 L/min	0 L/min	12 L/min	×		
3 L/min	3 L/min	6 L/min	6 L/min	×		
0 L/min	6 L/min	12 L/min	0 L/min	×		
6 L/min	0 L/min	12 L/min	0 L/min	◎	99.99%以上	99.99%以上

◎；放電良好、放電管変形・熔融なし

○；赤熱する

△；熔融による変形あり（軟化）

×；放電後直ちに熔融

【0065】この表から、フロンと水蒸気を外管にのみ供給した場合にプラズマが着火し、しかも十分な分解率が得られることがわかった。また、フロン134aについても同様の分解が可能であることが確認された。なお、添加ガスとしてアルゴンや空気等が混入しても、マイクロ波パワーを調節すれば、ほぼ同程度の分解率が得られることも実験的に確認した。

【0066】（実施例2）本実施例においては、前記第2の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置を用い、所定条件下でフロンガスの分解を行った。詳細には、円筒型共振キャビティー3bを内径90mm、長さ50mmとし、プローブアンテナ10aと円筒型キャビティー端板3cとのギャップ長さを20mmとした。放電管4は、外管4a（外径13mm、内径10mm）と内管4b（外径6mm、内径4

mm）によって構成されている。キャビティー3b内部の放電管4にはフロン（R12）7を大気圧、流量10l/minで供給し、2.45GHzのマイクロ波が、発振器2から矩形導波管1上に取り付けられた金属導体10およびプローブアンテナ10aを経て、円筒型キャビティー3b内に導かれ、プローブアンテナ10aとキャビティー端板3cとの間で形成されたTM₀₁₀モードの軸方向電界で放電させた。フロン供給量1kg/h及び水蒸気を水/フロンのモル比を2とした場合において、フロンと水蒸気の供給方法を放電管の内管と外管（外管と内管との隙間）に分けた場合の分解率を測定した。この実験結果を表2に示した。

【0067】

【表2】

フロン		水蒸気		放電の成否	分解率
外管流量	内管	外管流量	内管		
6 L/min	0 L/min	0 L/min	12 L/min	×	
3 L/min	3 L/min	6 L/min	6 L/min	×	
0 L/min	6 L/min	12 L/min	0 L/min	×	
6 L/min	0 L/min	12 L/min	0 L/min	◎	99.99%以上
6 L/min	0 L/min	10 L/min	2 L/min	○	99%
4 L/min	2 L/min	12 L/min	0 L/min	○	99%

【0068】この結果より、フロンと水蒸気を外管4aにのみ供給した場合に、最も安定にプラズマが発生し、

高分解率でフロンが分解されることがわかった。また、内管4bにフロンまたは水蒸気を供給しても、少量であ

ればプラズマが発生することがわかった。

【0069】(実施例3) 本実施例においては、前記第3の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置を用い、所定条件下でフロンガスの分解を行った。詳細には、図4に示す分解装置において、テスラコイルで構成される電源17で発生した高周波電圧を放電管内管4b内に設置した着火電極16まで

導き、外管4aと内管4bとの隙間に供給されるArガスを放電させた。プラズマが着火すれば、フロン及び水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。Arの流量を変えて測定した結果を表3に示した。

【0070】

【表3】

Ar流量	放電の成否	
	本発明	従来技術
2 L/min	○	×
5 L/min	◎	△
10 L/min	◎	○

【0071】この方法では、従来の装置では着火が困難であった低流量条件でも着火が確実となることがわかった。

【0072】(実施例4) 本実施例においては、前記第4の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置を用い、所定条件下でフロンガスの分解を行った。詳細には、テスラコイルで構成される電源17で発生した高周波電圧を放電管内管4b内に設

置した着火コイル18まで導き、外管4aと内管4bとの隙間に供給されるArガスを放電させた。プラズマが着火すれば、フロン及び水蒸気に切り替えてもプラズマは失われない。Arの流量を変えて測定した結果、および、水分を混入させたArを供給した場合の結果を表4に示した。

【0073】

【表4】

Ar流量	放電の成否	
	本発明	従来技術
2 L/min	◎	×
5 L/min	◎	△
10 L/min	◎	○
10 L/min (水分あり)	◎	×

【0074】この方法では、従来の装置では着火が困難であった低流量条件でも着火が確実となることがわかった。また、水分を含んだArガスについては、従来法では着火しないが、本発明では問題なく着火することがわかった。

【0075】(実施例5) 本実施例においては、前記第5の実施形態に係る有機ハロゲン化合物分解用のマイクロ波プラズマ発生装置を用い、所定条件下でフロンガス

の分解を行った。詳細には、図6に示す放電管外管4aに取り付けられた枝管21により、ガスを壁面に沿った接線方向になるように導入させた。フロン流量6 l/minでの分解率のマイクロ波パワー依存性を表5に示す。また、従来技術の放電管を使用した場合における放電管の溶融の有無の比較を同表に示す。

【0076】

【表5】

マイクロ波パワー	放電管溶融の有無	分解率	従来技術
500W	溶融無し	80%	溶融無し
1000W	溶融無し	90%	軟化小
1500W	溶融無し	99.99%	軟化大
2000w	溶融無し	99.99%以上	溶融

【0077】従来の装置ではマイクロ波パワーの増加に伴い、放電管が溶融するという問題があったが、本発明ではマイクロ波パワーが高い条件でも溶融が抑制できることがわかった。

【0078】

【発明の効果】本発明の有機ハロゲン化合物分解用マイクロ波プラズマ発生装置を用いれば、フロン等と水蒸気の混合ガスからなるプラズマの安定化に効果がある。放電管内部にテーパ部や流路が絞られたところがないた

め、旋回流効果が維持され、放電管の溶融や固形物の付着が防止できる。また、着火コイルまたは着火電極を放電管内部設置したことで、プラズマ状態に関わらず再現性のあるプラズマ生成が可能である。さらに、安定にプラズマを発生させることができるため、アルゴンの消費を抑えることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態として示したマイクロ波プラズマ発生装置の全体図である。

【図2】 本発明の第1の実施形態として示したマイクロ波プラズマ発生装置の断面図である。

【図3】 本発明の第2の実施形態として示したマイクロ波プラズマ発生装置の断面図である。

【図4】 本発明の第3の実施形態として示したマイクロ波プラズマ発生装置の断面図である。

【図5】 本発明の第4の実施形態として示したマイクロ波プラズマ発生装置の断面図である。

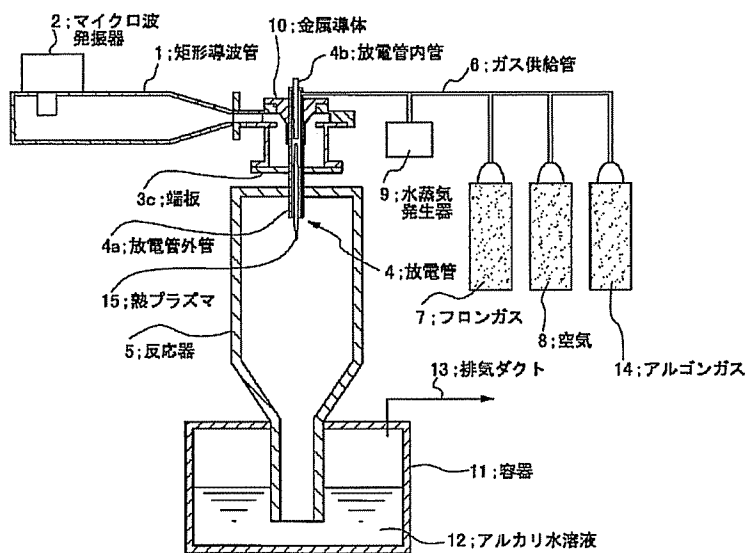
【図6】 本発明の第5の実施形態として示したマイクロ波プラズマ発生装置の断面図である。

【図7】 従来のマイクロ波プラズマ発生装置を示す断面図である。

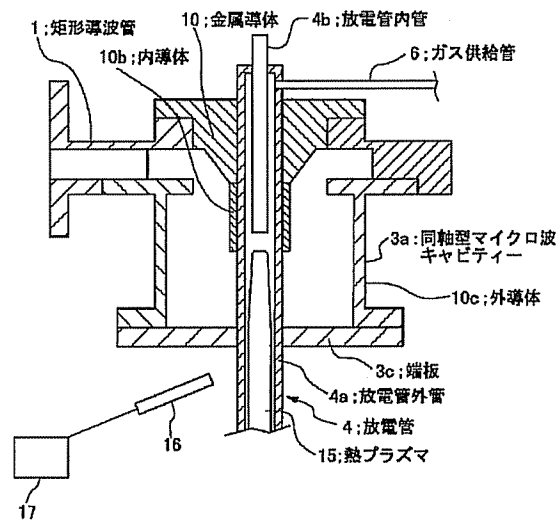
【符号の説明】

- 3 a 同軸型マイクロ波キャビティー
- 3 b 円筒型マイクロ波共振キャビティー
- 4 放電管
- 4 a 放電管外管
- 4 b 放電管内管
- 7 フロンガス
- 8 空気
- 9 水蒸気発生器
- 14 アルゴンガス
- 16 着火電極
- 18 着火コイル
- 21 枝管

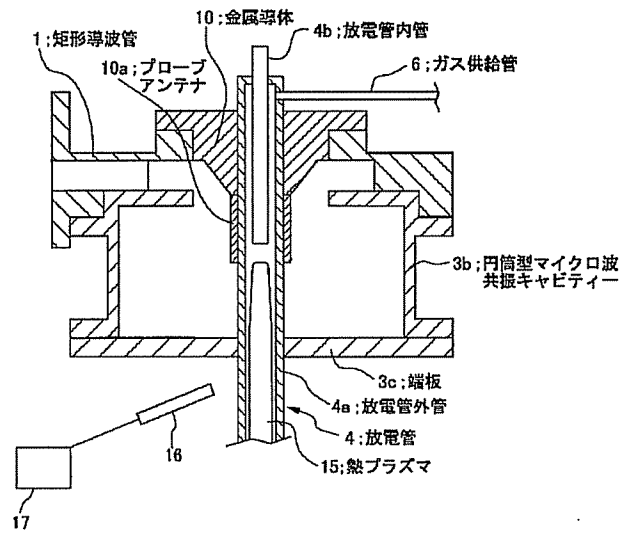
【図1】



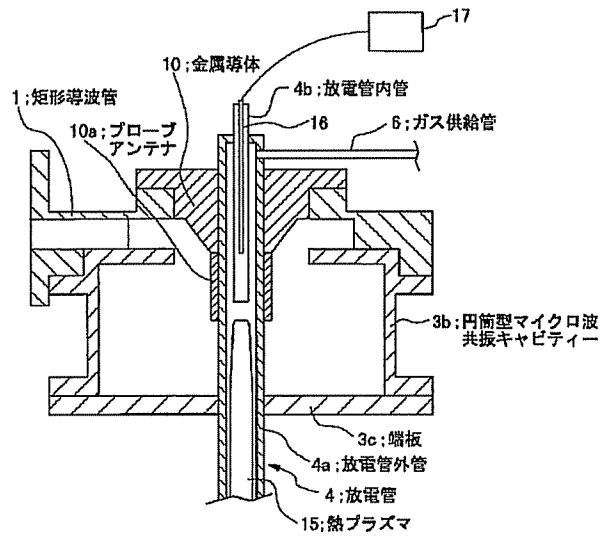
【図2】



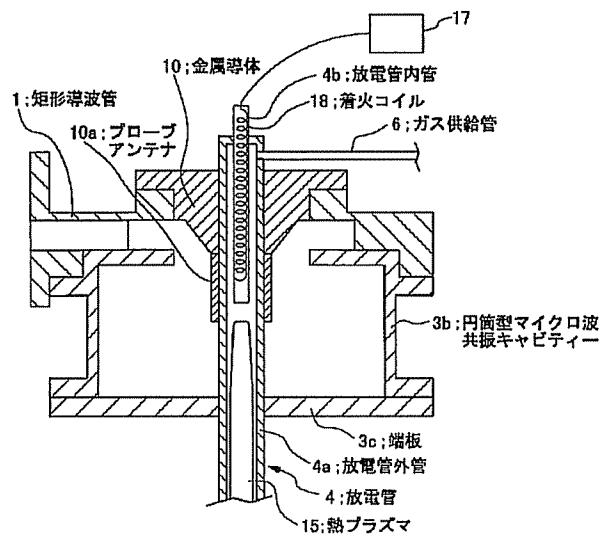
【図3】



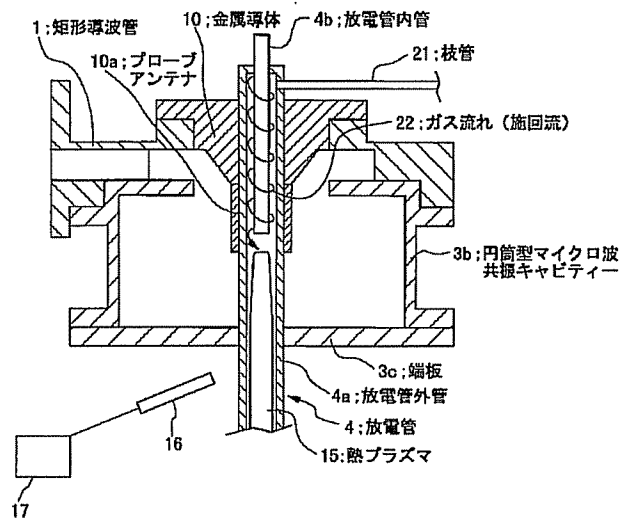
【 図 4 】



【 図 5 】



【図6】



【図7】

